



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

MEKATRONIIKAN OPETUSLAITTEISTON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Ville Vainionpää

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2019

TIIVISTELMÄ

Mekatroniikan opetuslaitteiston suunnittelu ja toteutus

Tekijä: Ville Vainionpää

Oulun yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2019, 24 s. + 5 s. liitteitä

Työn ohjaaja(t): Yrjö Louhisalmi, Juho Alatalo, Toni Liedes

Työn aiheena oli suunnitella ja toteuttaa älykkäiden koneiden ja järjestelmien tutkimusyksikölle opetuslaitteisto Mekatroniikan sekä Koneiden anturitekniikan kursseille. Työssä hyödynnetään tutkimusryhmän käytössä olevaa Bosch-Rexroth CKR-12-90 lineaarikuljetinta. Opetuslaitteisto sisältää lineaarikuljettimen, neljä induktiivista lähestymiskytkintä, vaijerivetoanturin, tasavirtamoottorin, moottorinohjaimen ja ohjainsauvan.

Työn toteutuksessa on käytetty runsaasti Oulun yliopiston Fab Labin 3D-tulostinta. Tulostimella tehtiin muun muassa prototyyppi tasavirtamoottorin sovitustaipasta sekä kytkimestä. Sen lisäksi lähestymiskytkimien ja vaijerivetoanturin kiinnitykset valmistettiin 3D-tulostimella.

Asiasanat: opetuslaitteisto, lineaarikuljetin, mekatroniikka

ABSTRACT

Designing and manufacturing equipment for the education of mechatronics.

Ville Vainionpää

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2019, 24 pp. + 5 Appendixes

Supervisor(s) at the university: Yrjö Louhisalmi, Juho Alatalo, Toni Liedes

The purpose of this thesis was to design and manufacture equipment for the education of mechatronics. The thesis was made for Intelligent machines and systems at the University of Oulu. The main component of the equipment is Bosch-Rexroth CKR 12-90 compact linear module. Other components are four inductive proximity sensors, a compact string pot, a DC-motor, a control module for the DC-motor and a joystick.

Many mounting components were made with a 3D-printer at Fab Lab Oulu. The prototype of the DC-motor's flange and the clutch were made with the 3D-printer. The mountings of the proximity sensors and the string pot were also manufactured with the 3D-printer.

Keywords: equipment for education, mechatronics, compact linear module

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Oulun yliopiston Älykkäät koneet ja järjestelmät -tutkimusyksikölle vuosien 2016-2019 välisenä aikana. Työssä rakennettiin tutkimusyksikölle uusi opetuslaitteisto, jota voidaan hyödyntää opetuksessa. Haluan kiittää Toni Liedestä ja Juho Alataloa, jotka mahdollistivat tämän työn tekemisen. Työn käytännön osan tekeminen oli mielenkiintoista ja opettavaa. Erityisesti haluan kiittää Juhoa, joka mahdollisti työn valmistumisen huomattavasti alkuperäistä aikataulua myöhemmin. Tonia haluan kiittää opetuslaitteiston pöydänkannesta, jonka hän minulle hankki ja toimitti.

Oulu, 10.4.2019

Ville Vainionpää

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 KOKOONPANO	8
2.1 Lineaarikuljetin	8
2.2 Tasavirtamoottori	10
2.2.1 Harjallisen ja harjattoman tasavirtamoottorin ero	10
2.3 Siirtymäanturi.....	12
2.4 Induktiivinen lähestymiskytkin	13
2.5 Muut laitteet	14
3 LAITTEISTON RAKENTAMINEN.....	15
3.1 Runko	15
3.2 Moottorin kiinnityslaippa ja kytkin.....	15
3.2.1 Kiinnityslaippa.....	16
3.3 Soviteakseli	18
3.4 Anturien kiinnitykset.....	19
4 YHTEENVETO	21
5 LÄHDELUETTELO.....	23
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa Älykkäät koneet ja järjestelmät - tutkimusyksikön käyttöön opetuslaitteisto, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi mekatroniikan ja koneiden anturitekniikan opetuksessa. Kurssien harjoitustöissä voidaan ajaa esimerkiksi erilaisia liikeprofileja ja verrata niitä käsin ohjaamiseen. Myös erilaisten anturien toimintaa voidaan havainnollistaa opetuslaitteiston avulla.

Mekatroniikka yhdistää mekaanisen laitteen, sähköjärjestelmän ja säätötekniikan. Nämä kolme elementtiä sisällytettiin laitteistoon. Anturit ovat olennainen osa mekatronisen laitteen toimintaa, joten laitteisto sopii hyvin myös anturitekniikan opettamiseen. Samantyyppisiä laitteistoja on käytössä myös muissa Suomen korkeakouluissa. Jyrkkä ja Kero ovat modernisoineet vuonna 2010 ilmestyneessä opinnäytetyössään Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun mekatroniikanopetuslaitteiston. Heidän työssään Proffa 2000 -niminen laitteisto modernisoitiin niin, että sitä voidaan käyttää automaatiotekniikan ja logiikan ohjelmoinnin opettamiseen (Jyrkkä ja Kero 2010 s. 2). Eilola on vuonna 2016 tehdyssä opinnäytetyössään asentanut Centria ammattikorkeakoululle uuden tasavirtakäytön opetuslaitteiston sähkövoimantekniikan opetukseen (Eilola 2016 s 1).

Opetuslaitteisto rakennettiin Bosch-Rexrothin CKR 12-90 hammashihnatoimisen lineaarikuljettimen ympärille. Kyseinen lineaarikuljetin sopii hyvin opetuskäyttöön, koska hammashihnatoiminen lineaarikuljetin on yleinen toimilaite teollisuudessa ja opetuslaitteiston lineaarikuljetin on suunniteltu teollisuusympäristöön.

Opetuslaitteisto sisältää rullien päällä kulkevan pöydän, lineaarikuljettimen, tasavirtamoottorin sekä siihen kuuluvan moottorinohjaimen, neljä kappaletta induktiivisia rajakytkimiä, vaijerivetoanturin, ohjainsauvan, kytkentäpaneelin ja virtalähteet sekä antureille että moottorille.

Työn rajauksena oli opetuslaitteiston kokoonpano suunnittelu ja toteuttaminen, varsinainen rakentaminen ja työn aikana tehtyjen sähköisten kytkentöjen tarkastus

yhdessä työnohjaajan kanssa. Työhön ei sisältynyt laitteiston käyttöönottoa eikä moottoriohjaimen ohjelmointia.

2 KOKOONPANO

Opetuslaitteisto rakennettiin Älykkäät koneet ja järjestelmät -tutkimusryhmän omistaman lineaarikuljettimen ympärille. Sen lisäksi opetuslaitteiston kokoonpano sisältää harjattoman tasavirtamoottorin, neljä kappaletta induktiivisia rajakytkimiä, siirtymää mittaavan vaijerivetoanturin, ohjainsauvan ja kaksi virtalähdettä, joista toinen tuottaa 12 V jännitteen ja toinen 24 V jännitteen. Opetuslaitteiston kokoonpano näkyy kuvassa 1.

Opetuslaitteiston asettelun lähtökohtana oli, että opiskelija voi tehdä opetuslaitteiston yhteydessä olevalla kytkentäpöydällä tarvittavat kytkennät. Tätä varten komponentit sijoiteltiin niin, että moottorin ohjaukseen tarvittavat laitteet ovat vasemman käden puolella ja kytkentäpöytä sekä kaikkien anturien tulot ovat keskellä pöytää. Oikealle reunalle jätettiin tilaa kannettavaa tietokonetta varten.



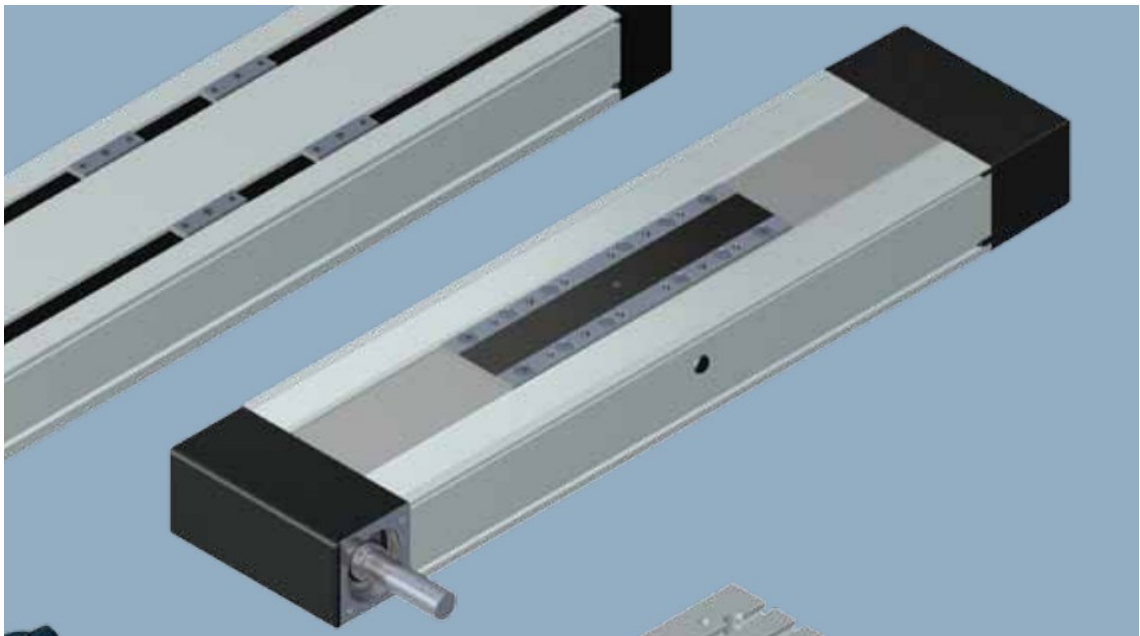
Kuva 1. Opetuslaitteisto. Kuvasta puuttuvat moottori ja sovitelaippa. (Juho Alatalo 2019)

2.1 Lineaarikuljetin

Lineaarikuljetin on mallia Bosch-Rexroth CKR 12-90. Kuljettimen 3D-malli näkyy kuvassa 2. CKR 12-90 on hammashihnatoiminen lineaarikuljetin. Sen tekniset tiedot on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Bosch-Rexroth lineaarikuljettimen tekniset tiedot (Bosch-Rexroth 2012)

Liikematka	1000 mm
Maksiminopeus	3 m/s
Maksimikiihtyvyys	50 m/s ²



Kuva 2. Bosch-Rexrothin CKR 12-90 lineaarikuljetin. (Bosch-Rexroth 2012)

Lineaarikuljettimen toimilaitteena on alun perin toiminut kolmivaihdetahtimoottori ja sen ohjaimet. Harri Harju (2014) on tarkastellut omassa kandidaatintyössään Lineaariservoakselin käyttöönotto -kokoonpanon käyttöä. Nyt tehdyssä työssä kolmivaihdetahtimoottori ja sen sovite purettiin pois ja tilalle asennettiin tasavirtamoottori ja sille suunniteltiin oma sovite.

Tasavirtamoottori toimii lineaarikuljettimen toimilaitteena pyörittäen hammaspyörää, joka liikuttaa hammashihnassa kiinni olevaa vaunua (engl. carriage).

Lineaarikuljettimessa on kaksi integroitua kuulajohdetta, jotka on voideltava säännöllisesti. Hammaspyörän laakerit on kestopvoideltu koko käyttöiäksi.

2.2 Tasavirtamoottori

Lineaarikuljettimeen vaihdettu tasavirtamoottori on Maxon Motorin valmistama moottori-vaihdepaketti mallia 448284. Moottori-vaihdepaketin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 2.

Maxon Motorin EC60 moottori on harjaton tasavirtamoottori. Harjaton tasavirtamoottori sopii opetuskäyttöön hyvin, koska se on rakenteeltaan huomattavasti yksinkertaisempi kuin kolmivaihdetahtimoottori ja sitä käytetään yleisesti teollisuudessa ja lähes kaikissa sähkömoottoria vaativissa kodinkoneissa. Sen lisäksi se on huoltovapaampi kuin harjallinen tasavirtamoottori.

Taulukko 2. Maxon Motorin moottori-vaihdepaketin 448284 tekniset tiedot (Maxon motor 2015)

Moottorin malli	Maxon Motor, EC60
Teho	100 W
Käyttöjännite	24 V
Ominaisnopeus	3840 rpm
Välityssuhde	353:1

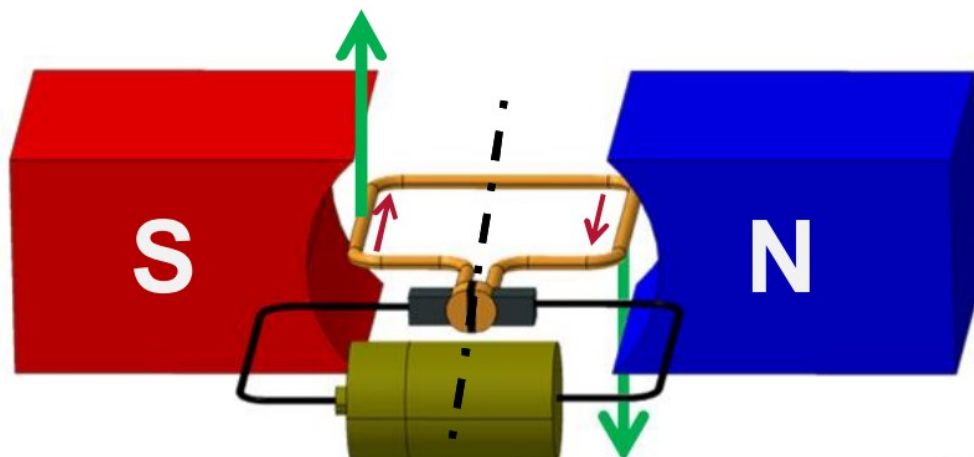
2.2.1 Harjallisen ja harjattoman tasavirtamoottorin ero

Perinteisen harjallisen tasavirtamoottorin osia ovat staattori, roottori ja kommutaattori. Osat näkyvät kuvassa 3. Staattori koostuu useasta kestopagneettiparista. Roottori, jota kutsutaan myös ankkuriksi, koostuu käämityksestä. Käämien päät on yhdistetty kommutaattoriin. Ankkuriin johdetaan virta, jotta sen ympärille muodostuisi magneettikenttä. Virta tulee johtimia pitkin hiiliharjoihin, joista se johtuu kommutaattoriin ja sieltä johtimia pitkin käämeihin (Airila 1999 s. 5.4-5.5).



Kuva 3. Erään tasavirtamoottorin staattori ja roottori, jonka päässä kommutaattori. (Magnetic Innovation 2019)

Kun ankkuriin johdetaan virta, käämien ympärille muodostuu magneettikenttä, jonka vuon tiheys on verrannollinen ankkuriin johdettuun virtaan. Staattorin kestopagneetit muodostavat myös magneetinkentän. Näiden kahden magneettikentän yhteisvaikutuksesta käämiin kohdistuu voima. Voiman muodostuminen on esitetty kuvassa 4. Jos käämi on kohtisuorassa kestopagneettien luomaan magneettikenttään nähden, on käämiin kohdistuva voima suurimmillaan. Kommutoinnin tehtävä on kääntää käämien virran suuntaa, kun käämi ei ole enää ideaalisessa asennossa magneettikenttään nähden (Airila 1999 s 5.4-5.5).

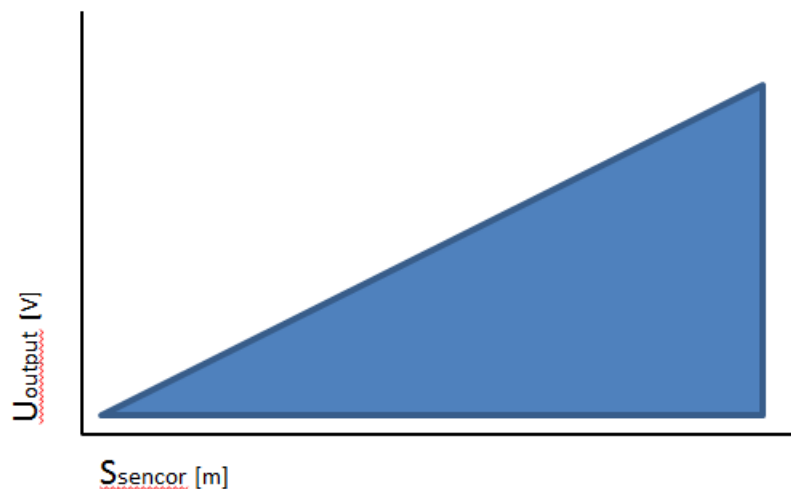


Kuva 4. Roottorin käyttäytyminen magneettikentässä. (Liedes 2016)

Harjaton tasavirtamoottori eroaa harjallisesta moottorista niin, että siinä kestopagnetoinnin ja käämityksen paikkaa on vaihdettu. Magnetointi on siis roottorissa ja käämitys staattorissa. Kommutointi tapahtuu elektroniikan, yleensä Hall-anturien, avulla (Airila 1999 s 5.4-5.5).

2.3 Siirtymäanturi

Siirtymäanturi on SP2-50 vaijerivetoanturi. SP2-50 on pieni ja vedenkestävä anturi. Se koostuu jousikuormitteisesta vaijeripuolasta ja potentiometrasta, joka mittaa kohteen asemaa. Kuvassa 5 on esitetty jännite vaijerin suhteellisen siirtymän funktiona. Anturin tekniset tiedot ovat liitteenä 1. (Te Sensor solutions 2015)



Kuva 5. Vaijerivetoanturin siirtymän ja jännitteen välinen yhteys.

Potentiometri on yleinen asemanmittausmenetelmä. Sitä voidaan käyttää sekä tasa- että vaihtojännitteellä. Potentiometrin ulostulona on jännite, joka on verrannollinen kohteen aseman muutokseen (Fonselius et al. 1994 s. 92). Kuva 5 näyttää opetuslaitteistossa käytettävän potentiometrin jännitteen mittavaijerin siirtymän funktiona. Potentiometri sopii kohteisiin, joissa liikenopeudet eivät kasva suuriksi. Tarkkuus vaihtelee 0.05 % ja 0.5% välillä mittausalueesta riippuen. Tyypillinen mittausalue on 25-2500 mm. Oikein

asennettuna ne kestävät hyvin myös vaikeissa olosuhteissa (Fonselius et al. 1994 s. 92-92).

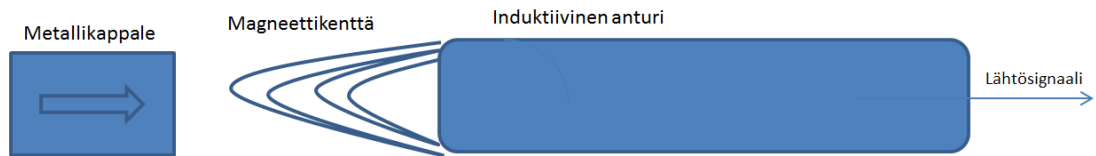
2.4 Induktiivinen lähestymiskytkin

Kokoonpanoon kuuluu neljä kappaletta induktiivisia lähestymiskytkimiä, jotka kertovat, kun lineaarikuljettimen kelkka lähestyy liikealueensa reunaa. Kaksi anturia on sijoitettu vierekkäin. Ensimmäinen anturi kertoo lähestymisestä ja hidastaa laitteen vauhdin ja toinen anturi pysäyttää laitteen. Työssä käytettiin Wenglorin IB060NM46VB3 (kuva 6), induktiivisia lähestymiskytkimiä, joiden tunnistusetäisyys on 6 mm. Anturin tekniset tiedot ovat liitteenä 4. (Wenglor sensoric GmbH 2019)



Kuva 6. Wenglorin induktiivinen lähestymisanturi (Juho Alatalo 2019)

Induktiivinen lähestymisanturi on yleisin lähestymiskytkin. Sen heikkous on, että se tunnistaa vain metalleja. Anturin tuntopäässä on magneettikenttä, joka vaimenee, kun sen lähelle tuodaan metallia. Tästä seuraa, että anturin sisällä olevan kelan virta pienenee ja tämä virran muutos muutetaan anturin sisällä on/ei-tiedoksi. Kuva 7 esittää induktiivisen lähestymiskytkimen toimintaperiaatteen. Tunnistusetäisyys vaihtelee yleensä 0.5 millimetristä jopa 150 millimetriin (Fonselius et al. 1994 s. 24-25).



Kuva 7. Induktiivisen lähestymiskytkimen toimintaperiaate.

2.5 Muut laitteet

Kokoonpanoon kuuluu kaksi virtalähdettä, joista toinen tuottaa 12 V tasajännitteen ja toinen 24 V tasajännitteen. Virtalähteet ovat Traco Powerin valmistamia. Sen lisäksi manuaalista ohjaamista varten asennettiin potentiometrillä toimiva sauvaohjain. Kytken töjen tekemistä varten hankittiin kytkentäpöytä ja pikaliittimet, joilla tarpeelliset kytkennät on helppo toteuttaa. Pikaliittimet ovat Phoenix Contactin valmistamia. Pikaliittimien tulojen kytkentätaulukko liitteenä 5.

3 LAITTEISTON RAKENTAMINEN

Laitteiston rakentaminen tapahtui Älykkäät koneet ja järjestelmät -tutkimusyksikön tiloissa syksyllä 2016. Komponenttien kiinnittämistä varten suunniteltiin useita erilaisia kiinnitysratkaisuja. Tässä kappaleessa käydään läpi, kuinka komponentit kiinnitettiin ja miten kiinnitykset suunniteltiin.

3.1 Runko

Laitteiston runkona toimii pyörien päällä oleva kuljetuskärry. Kärryn työntökahvat leikattiin irti ja kärryjen pituutta kasvatettiin putkirakenteilla, jotta kaikki opetuslaitteet saatiin mahtumaan kärryn päälle. Leikkaus- ja hitsaustyöt toteutettiin Oulun yliopiston konepajan hitsauslaboratoriossa.

3.2 Moottorin kiinnityslaippa ja kytkin

Bosch-Rexrothin lineaarikuljettimen alkuperäinen kokoonpano sisälsi Rexrothin valmistaman kolmivaihdemoottorin. Tämä moottori ei kuitenkaan sovellu opetuslaitteistoon, koska se on rakenteeltaan huomattavasti monimutkaisempi kuin tasavirtamoottori. Tämän lisäksi mekatroniikan kurssilla käsitellään tasavirtamoottorien rakennetta, joten opetuslaitteiston tulee sisältää samanlaista tekniikkaa kuin kurssilla käsitellään.

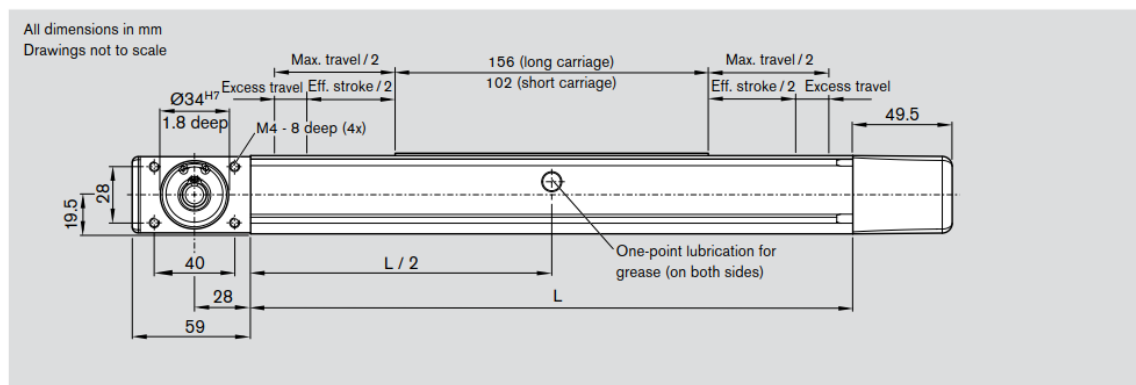
Maxon Motorin valmistaman tasavirtamoottorin akselin halkaisija ja moottorin kiinnitys olivat erilaiset kuin Rexrothin vaihtovirtamoottorissa. Tämän takia moottoriin valmistettiin oma kiinnityssovite ja soviteakseli.

Kiinnityslaipan ja soviteakselin lujuuksia ei tarkasteltu, mutta niiden kestävyyttä arvioitiin suunnitteluvaiheessa kokeilemalla 3D-tulostettuja kappaleita paikalleen ja toteamalla niiden kykenevän kantamaan moottorin aiheuttaman kuormituksen.

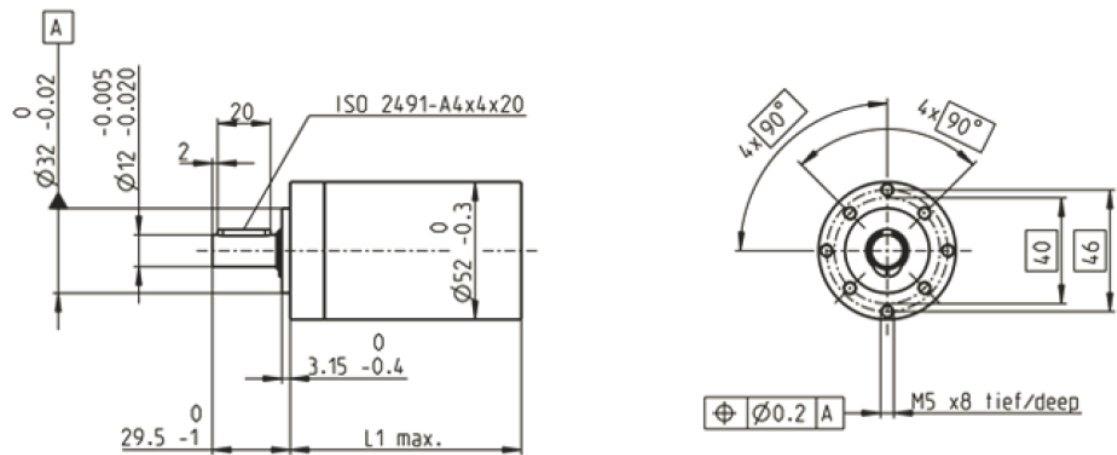
3.2.1 Kiinnityslaippa

Kiinnityslaipan suunnittelun apuna käytettiin lineaarikuljettimen ja tasavirtamoottorin piirustuksia, joista saatiin tarvittavat mitat kiinnityksille. Sekä lineaarikuljettimessa (kuva 8) että tasavirtamoottorissa on olake, jonka tarkoituksena on kantaa laitteiston massasta syntyvä kuorma. Olaketta kutsutaan puhekielessä myös kaulukseksi. Moottorin olake, jonka halkaisija on 32 mm, näkyy kuvassa 9. Näiden olakkeiden halkaisijat ja toleranssit ovat sovitteen tärkeitä mittoja. Näille mitoille määriteltiin sovitteen suunnittelussa toleranssit. Kappale suunniteltiin Catia V5R21-ohjelmalla. Kappaleen 3D-malli on kuvassa 10. Kappaleen valmistuskuva on liitteenä 3.

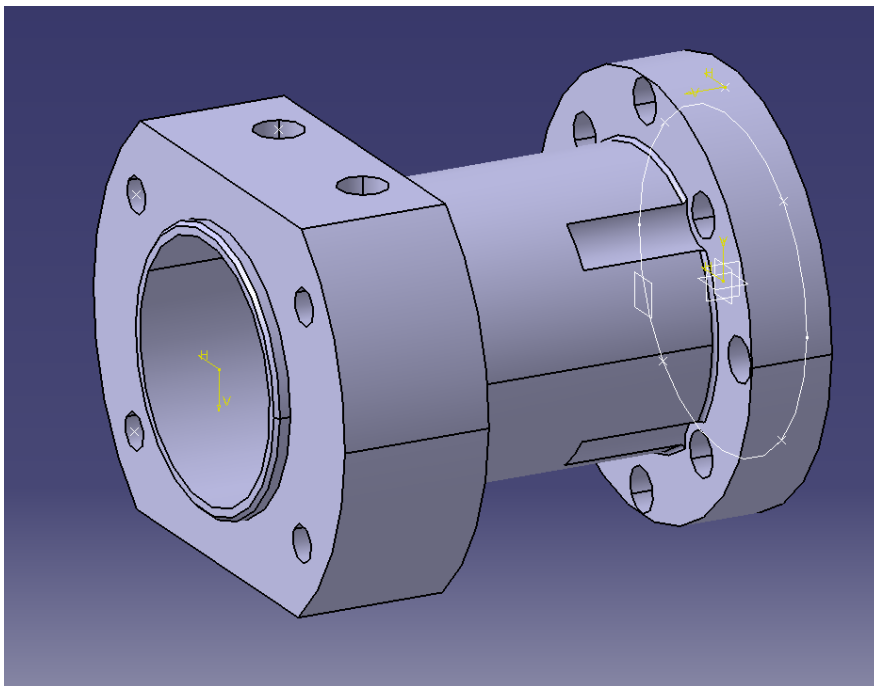
CKR 12-90 dimensions



Kuva 8. Bosch-Rexrothin lineaarikuljettimen mitat. (Bosch-Rexroth, 2012)



Kuva 9. Maxon Motorin tasavirtamoottorin mitat. (Maxon Motor 2015)



Kuva 10. Kiinnityssovitteen 3D-malli

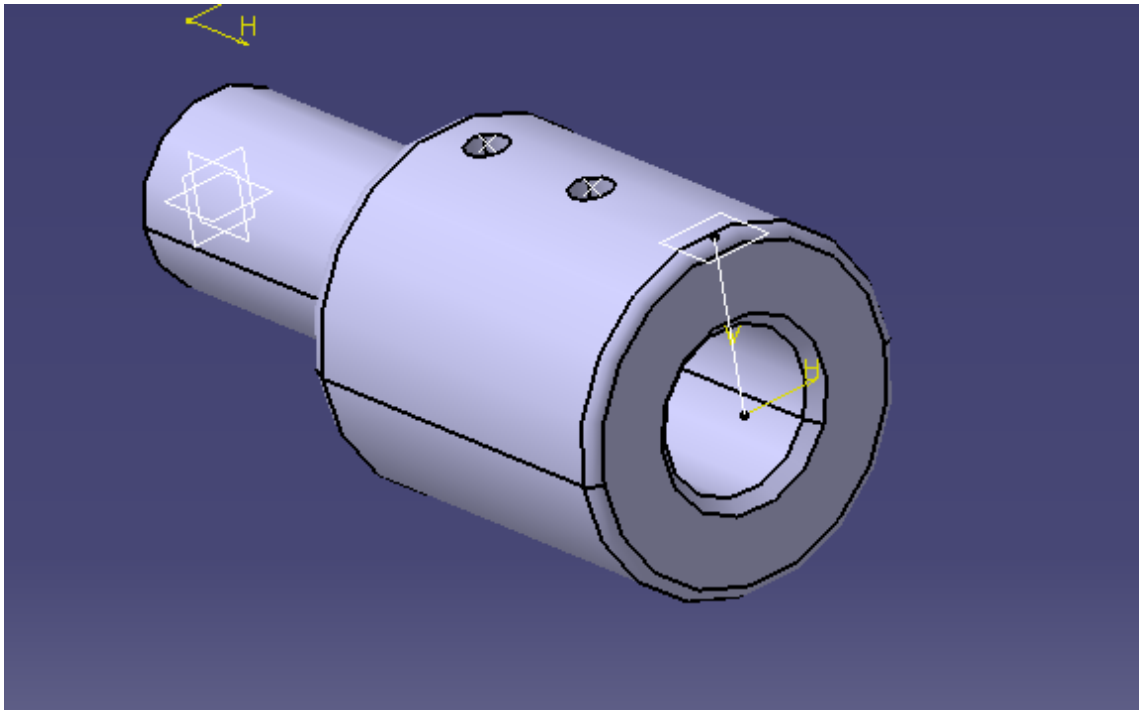
Sovitteen suunnittelussa oli myös otettava huomioon kiinnitsruuvien sijoittelu. Fab Labissa tehdystä koekappaleesta huomattiin, että osa kiinnitsruuveista ei mene

paikalleen ilman, että niille tehdään sovittteen keskiosaan urat. Varsinainen kappale valmistettiin Oulun yliopiston konepajalla teräksestä.

3.3 Soviteakseli

Tasavirtamoottorin akseli ja lineaarikuljettimen kytkin eivät olleet toisiinsa sopivat, joten niiden välille suunniteltiin soviteakseli, jolla teho siirretään. Akselin mitoituksessa tuli ottaa erityisesti huomioon sekä moottorin akselin ja kytkimen välykset että soviteakselin oikea pituus.

Soviteakselin 3D-malli tehtiin Catia V5R21 ohjelmalla. 3D-malli kuvassa 11. Myös soviteakselista tehtiin koeversio Oulu yliopiston Fab Labin 3D-tulostimella. Koeversio onnistui hyvin ja todettiin, että se olisi toiminut työn jäljen puolesta sellaisenaan laitteistossa. Kappaleesta valmistettiin kuitenkin varsinainen versio teräksestä Oulun yliopiston konepajalla. Soviteakselin valmistuskuvat liitteenä 2.

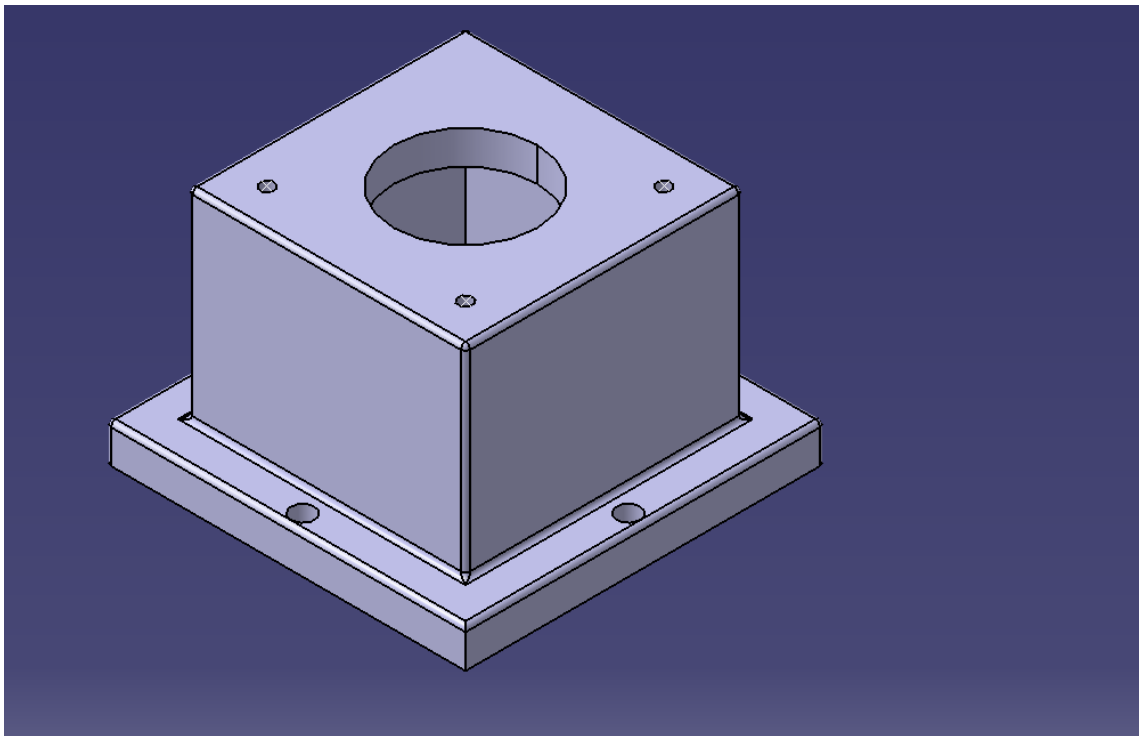


Kuva 11. Soviteakselin 3D-malli

3.4 Anturien kiinnitykset

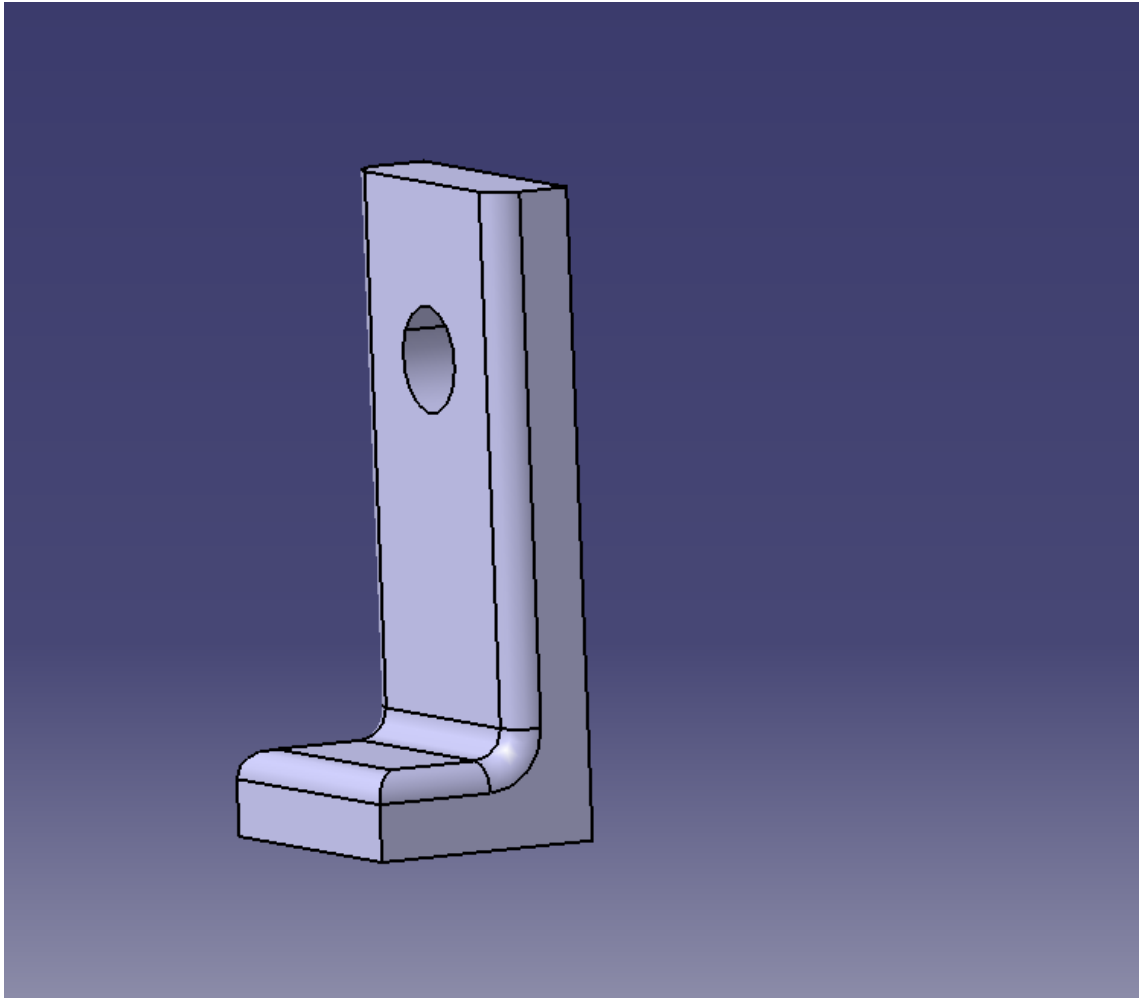
Vaijerivetoanturille suunniteltiin oma kotelokiinnitys Catia V5R21 -ohjelmalla. Kotelo näkyy kuvassa 12. Kappale valmistettiin Fab Labin 3D-tulostimella.

Vaijerivetoanturi sijoitettiin lineaarikuljettimen moottoripuolen päähän. Täällä anturi on samalla suoralla kuljettimen kanssa. Tällöin anturin vaijeriin ei synny kulmaa, joka vaikeuttaisi siirtymän laskemista.



Kuva 12. Vaijerivetoanturin kotelon 3D-malli.

Induktiivisille lähestymisantureille suunniteltiin niin ikään CAD-ohjelmalla kiinnitysalusta, joka näkyy kuvassa 13 ja ne tulostettiin 3D-tulostimella. Anturien sijoittelu vaati huolellisuutta, koska anturien tunnistusetäisyys on vain kuusi millimetriä.



Kuva 13. Induktiivinen lähestymisanturin kiinnitysalustan 3D-malli.

4 YHTEENVETO

Tässä työssä rakennettiin mekatroniikan ja koneiden anturitekniikan opetusta varten opetuslaitteisto. Laitteisto koostuu harjattomasta tasavirtamoottorista, moottorin ohjauksesta, hihnakäyttöisestä lineaarikuljettimesta, induktiivisista lähestymisantureista, vaijerivetoanturista, virtalähteistä ja kytkentäpöydästä. Laitteet on kiinnitetty kuljetuskärryyn.

Tasavirtamoottori ei ollut lineaarikuljettimen alkuperäinen toimilaite, joten moottorin kiinnitystä varten suunniteltiin sovitelaippa ja soviteakseli, joilla toimilaite kiinnitettiin lineaarikuljettimeen. Suunnittelun apuna käytettiin 3D-tulostustekniikkaa, jonka avulla valmistettiin koekappaleet laipasta ja akselista. 3D-tulostustekniikan käyttö osoittautui hyödylliseksi, koska sen avulla osien suunnitteluvirheitä voitiin korjata. Virheitä olisi ollut vaikeaa ja kallista poistaa varsinaisista osista. 3D-tulostustekniikkaa hyödynnetään kaupallisesti nykyään paljon prototyyppien teossa ja tämän työn kokemukset osoittavat, että se on kannattavaa ja tulee varmasti lisääntymään tulevaisuudessa. Varsinaiset osat valmistettiin teräksestä konepajalla. Tasavirtamoottorin ohjainlaite asennettiin moottorin läheisyyteen ja ohjainsauvaa varten tehtiin upotus. Lineaarikuljetin kiinnitettiin opetuslaitteistoa varten muunneltuun runkorakenteeseen kuljettimen valmistajan tarjoamilla kynsillä.

Induktiiviset lähestymisanturit ja vaijerivetoanturit kiinnitettiin runkoon 3D-tulostimella tehdyillä osilla. Tasavirtamoottorin testikappaleiden teon yhteydessä huomattiin, että 3D-tulostetut osat ovat erittäin käyttökelpoisia työssä, joten niiden käyttöä jatkettiin myös tässä yhteydessä. Vaijerivetoanturin vaijeri kiinnitettiin lineaarikuljettimen hihnaan kiinnitettyyn alustaan. Alusta tehtiin myös 3D-tulostamalla.

Työn tarkoituksena oli rakentaa Älykkäät koneet ja järjestelmät -tutkimusyksikölle mekatroniikan opetusta varten liikkuva opetuslaitteisto, jonka toimilaitteena olisi tasavirtamoottori. Työ tavoitteet täyttyivät, koska opetuslaitteisto saatiin valmiiksi. Laitteiston varsinainen testaaminen ei kuulunut työhön, eikä sitä tehty työn aikana. Työn jatkokehityksenä tulisi opetuslaitteistolle suunnitella erilaisia liikeprofiiileja ja

harjoitustöitä, joita opiskelijat voisivat tehdä kursseilla. Laitteiston kehittäminen tarjoaisi usealle opiskelijalle kandintyön aiheen.

Työssä tärkein oppimani asia oli toimilaitteiden kiinnityksen suunnittelu ja toteutus CAD-ohjelmaa hyödyntäen. Myös prototyypin teko osoittautui hyväksi kokemukseksi ja opetti suunnittelussa tulevien virheiden etsintää.

5 LÄHDELUETTELO

Airila M, 1999, Mekatroniikka 5. painos, Helsinki, Yliopistokustannus Oy, ISBN 951-672-274-1

Bosch-Rexroth, 2012, Compact-Module –katalogi, Saatavissa: https://www13.boschrexroth-us.com/catalogs/R310A%202602_Compact-Module_2012-08-L.pdf [viitattu, 8.9.2015]

Eilola N, 2016, DC-Käytön opetuslaitteisto, Centria-ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma

Fonselius J, Laitinen E, Pekkola K, Sampo A, Välimaa T, 1994, Anturit 3. painos. Helsinki, Opetushallitus, ISBN 951-37-1480-2

Harju H, 2014, Lineaariservoakselin käyttöönotto, kandidaatintyö, Oulun yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma

Jyrkkä O & Kero J, 2010, Mekatroniikan opetuslaitteiston saneeraus, opinnäytetyö, Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Automaatiotekniikka

Liedes T, 2015, Mekatroniikka, opetusmateriaali, Oulun yliopisto, mekatroniikan ja konediagnostiikan tutkimusyksikkö

Magnetic Innovations B. V, 2019, DC Motor, How it works? Saatavissa: <https://www.magneticinnovations.com/dc-motor-how-it-works/> [viitattu 15.3.2019]

Maxon Motor, 2015, Planetary Gearhead GP 52. Saatavissa <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/product/gear/planetary/gp52/223105> [Viitattu 8.9.2015]

Te Sensor solutions, 2015, SP2 Compact string pot. Saatavissa <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtv&DocNm=SP2&DocType=Data+Sheet&DocLang=English> [viitattu 4.3.2019]]

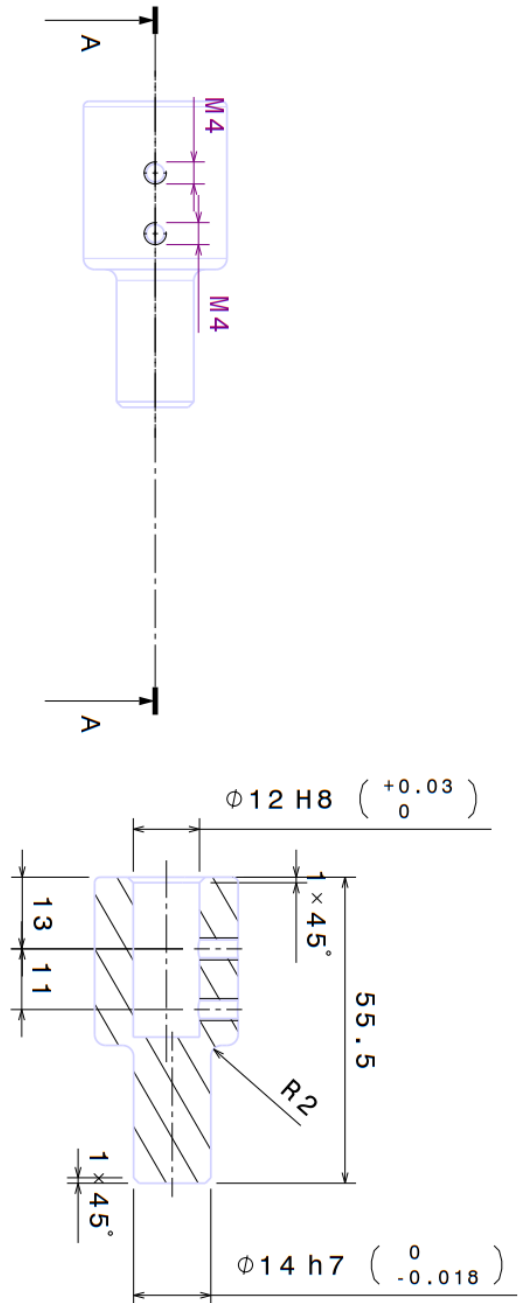
Wenglor sensoric GmbH, 2019, Inductive Sensors with Standard Switching Distances.
Saatavissa <https://www.wenglor.com/product-world/products/inductive-sensors/>
[viitattu 1.1.2019]


LIITTEET

Liite 1. Sp2-50 vaijerivetoanturin tekniset tiedot (Te Sensor solutions 2015)

Liikematka	1250 mm
Ulostulosignaali	Jännite
Tarkkuus	0,25 %
Vastus	10 K Ω
Teho	2 W
Käyttöjännite (maksimi)	30 V (AC/DC)
Käyttölämpötila	-18 - 71 °C

Liite 2. Soviteakselin valmistuskuva

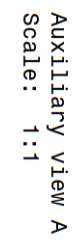


DESIGNED BY:		Ville Vainionpää	
DATE:		4.12.2015	
CHECKED BY:			
DATE:			
SIZE			
A4			
SCALE	WEIGHT (kg)	DRAWING NUMBER	SHEET
1:1	0,02	Akseli	1/1
Puh. numero 050 5535103			
A	-		
B	-		
C	-		
D	-		
E	-		
F	-		
G	-		
H	-		
I	-		

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

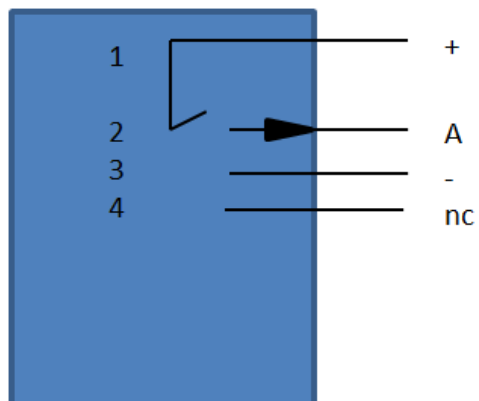
The diagram shows the orthographic projection of a mechanical part, likely a flange or a mounting plate, with the following dimensions and features:

- Front View (Top):**
 - Overall width: 46
 - Overall height: 40
 - Inner circular feature: $\phi 60$
 - Four mounting holes: $4 \times M4$
 - Distance from center to mounting holes: 28
 - Distance from center to outer edge: 46
 - Distance from center to mounting holes (radial): 24
 - Distance from center to outer edge (radial): 46
 - Section line A-A
- Top View (Bottom):**
 - Overall width: 46
 - Overall height: 40
 - Inner circular feature: $\phi 60$
 - Four mounting holes: $4 \times M5$
 - Distance from center to mounting holes: 28
 - Distance from center to outer edge: 46
 - Distance from center to mounting holes (radial): 24
 - Distance from center to outer edge (radial): 46
 - Section line A-A
- Side View (Middle):**
 - Overall width: 46
 - Overall height: 40
 - Inner circular feature: $\phi 60$
 - Four mounting holes: $4 \times M5$
 - Distance from center to mounting holes: 28
 - Distance from center to outer edge: 46
 - Distance from center to mounting holes (radial): 24
 - Distance from center to outer edge (radial): 46
 - Section line A-A



Liite 4. Wenglorin induktiivisen lähestymisanturin tekniset tiedot (Wenglor sensoric GmbH 2019)

Tunnistusetäisyys	6 mm
Käyttöjännite	24-30 VDC
Virrankulutus (U=24 V)	< 6 mA
Käyttölämpötila	-25 - 80 °C
Kiinnitys	M12 x 1



Liite 5. KytKentätaulukko

- 1 1. Rajakytkin supply voltage
- 2 1. Rajakytkin Signaali
- 3 1.Rajakytkin GND
- 4 2. Rajakytkin supply voltage
- 5 2. Rajakytkin Signaali
- 6 2.Rajakytkin GND
- 7 Vaijerivetoanturi Supply voltage
- 8 Vaijerivetoanturi Signaali
- 9 Vaijerivetoanturi GND
- 10 Joystick Y-akseli supply voltage
- 11 Joystick Y-akseli Signaali
- 12 Joystick Y-akseli GND
- 13 Joystick X-akseli supply voltage
- 14 Joystick X-akseli Signaali
- 15 Joystick X-akseli GND
- 16 12 V
- 17 GND
- 18 (24V) Tyhjä
- 19 (GND) Tyhjä
- 20 3. Rajakytkin supply voltage
- 21 3. Rajakytkin Signaali
- 22 3.Rajakytkin GND
- 23 4. Rajakytkin supply voltage
- 24 4. Rajakytkin Signaali
- 25 4.Rajakytkin GN